

## ОТЗЫВ

официального оппонента, д.т.н., профессора Вячеслава Михайловича Филина на диссертационную работу Заговорчева Владимира Александровича «Метод обоснования технических характеристик многомодульных лунных реактивных пенетраторов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.07.02 - «Проектирование конструкция и производство летательных аппаратов».

В настоящее время углубленное изучение и освоение Луны является одним из приоритетных направлений развития отечественной космонавтики. На первоначальном этапе с помощью автоматизированных аппаратов предполагается сбор новых сведений о физико-химических свойствах реголита, его гранулометрическом составе, внутренней структуре Луны, сейсмической и радиационной активности. На их основе будут выбраны перспективные места, содержащие полезные ископаемые, минералы, воду, с целью последующей их добычи и возможного строительства лунной базы. Для решения целого ряда вопросов, связанных с образованием скважин в лунном грунте, доставкой научной аппаратуры, располагаемой в приборном отсеке, в заданную область грунтового пространства автором предлагается использовать реактивные пенетраторы, представляющие собой устройства, снабженные ракетными двигателями и способные двигаться в грунтах с высокими скоростями. Важными достоинствами реактивных пенетраторов являются их относительная простота конструкции и эксплуатации.

К настоящему времени существует ряд работ, в направлении исследования процесса проникания твердых тел в грунт и выработки общих подходов к проектированию реактивных пенетраторов различного назначения, каждые из которых имеют свои достоинства и недостатки. Однако количественные и качественные показатели сравнительной оценки эффективности использования этих методов и средств при решении

конкретных инженерных задач представлены не достаточно полно. Работа Заговорчева Владимира Александровича в некоторой степени восполняет этот пробел, что несомненно представляет научную и практическую ценность.

На основании проведенного в работе исследования по взаимодействию пенетратора с лунным грунтом с учетом высокой скорости и угла входа, а также движения его в реголите с включенной двигательной установкой, когда газовая струя истекает из сопла двигателя в скважину переменной длины, предлагается многомодульная конструкция пенетратора и метод определения его технических характеристик.

Работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Материал изложен последовательно и методически грамотно.

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы диссертации, формулируются цели работы, проанализированы основные проблемы, указаны сведения об апробации результатов работы и описана структура диссертации.

В первой главе приводится методика расчета выбора проектных параметров лунных реактивных пенетраторов. Предложена принципиальная схема конструкции пенетратора, модель расчета газодинамических параметров многомодульных пенетраторов, установлены соотношения между параметрами аппарата, условиями его запуска и характеристиками грунта.

Показано, что одномодульные реактивные пенетраторы имеют ограниченную глубину проникания, поскольку после преодоления некоторой границы (при постоянном массовом расходе продуктов сгорания) в скважине будет наблюдаться дозвуковое течение газа, связанное с перемещением скачка уплотнения от устья скважины к соплу двигателя с возможным его заходом в камеру сгорания и дальнейшим разрушением двигателя. При использовании ракетного двигателя твердого топлива большого удлинения и с высокой плотностью заряжания увеличивается давление в камере сгорания,



появляется эрозионное горение топлива и, следовательно, снижается надежность РДТТ.

Указанные выше недостатки могут быть устранены путем применения многомодульных лунных реактивных пенетраторов, состоящих из комбинации нескольких секций твердого топлива, расположенных последовательно вдоль оси и корпуса, окружающего секции и имеющего головную часть, донное сопло и боковые вставки с сопловыми пазами.

Во второй главе диссертации анализируются общие вопросы скоростного движения пенетраторов в грунтах. Реголит рассматривается как среда для движения, приводятся его основные физико-механические свойства. Выбираются земные грунты-аналоги, позволяющие установить связь между внедряемым пенетратором и средой, а также определяются силы, действующие на пенетратор при его движении в лунном грунте.

Пространственное движение реактивного пенетратора в грунте описано системой уравнений движения центра масс, в которые входят внешние силы и моменты от этих сил в виде тяги двигателя, сил тяжести и сопротивления грунта, силы Кориолиса, связанной с относительным движением частиц внутри вращающегося корпуса пенетратора, и силы, вызванные перемещениями центра масс относительно корпуса.

Для определения сил и моментов, действующих на реактивный пенетратор со стороны грунта, используются нормальные и касательные напряжения, возникающие в грунте, которые зависят от физико-механических свойств реголита и характеристик движения точек поверхности пенетратора, в которых определяется сопротивление.

Третья глава посвящена обоснованию показателей эффективности применения, а также оценки роли и места реактивных пенетраторов в ряду альтернативных систем для исследования подповерхностных слоев Луны. Исследовано влияние особенностей функционирования двигателя в грунте на процесс проникания Лунного реактивного пенетратора в реголит с высокой скоростью.

Поскольку каждый из существующих в настоящее время способов образования скважин в грунте имеет определенные преимущества и недостатки, то для обоснованного выбора приемлемой схемы проникания предлагаются показатели эффективности, основанные на экономичности расходования имеющегося запаса энергии одинаковых по габаритно-массовым характеристикам пенетраторов, реализующих разные способы образования скважин в грунте.

Рассмотрена качественная картина взаимодействия факела РДТТ со стенками скважины и влияние этого взаимодействия на тягу и единичный импульс двигателя. При этом движение на активном участке траектории разбивается на три этапа, отличающихся режимом и характером течения газового потока по длине скважины.

Четвертая глава посвящена определению критериев подобия для моделирования параметров и характеристик лунных реактивных пенетраторов. Предложены модельные грунты, свойства которых моделируют физико-механические характеристики натуральных грунтов, их применение позволяет оценить в лабораторных условиях параметры движения пенетратора для различных условий его запуска.

В работе представлены критерии подобия помогающие решить задачу воспроизведения модельного движения реактивного пенетратора, аналогичного натурному. В качестве примера рассмотрен перенос экспериментальных данных, полученных на модели реактивного пенетратора, на натуральный аппарат при помощи масштабных коэффициентов. Отмечено совпадение большинства параметров натурального пенетратора и параметров пенетратора, рассчитанных по приведенному методу. Сходимость результата подтверждает достоверность принятых теоретических положений.

Апробация основных результатов работы автора подтверждается 3 статьями, опубликованных в журналах, рекомендованных ВАК, и выступлениями на 2 научно-технических конференциях.

К недостаткам работы можно отнести то, что:

1. В работе не представлена классификация пенетраторов по принципу работы, глубине проникания, выполняемым научным задачам. Её наличие позволило бы более ясно выявить место предлагаемого пенетратора в общей иерархии.

2. Из работы не до конца понятно, как происходит управление движением пенетратора в реголите, а так же возвращение на траекторию в случае возможного ухода аппарата в сторону.

3. Возможно, в определении цели диссертационной работы более корректно было бы употребить слово «определения», вместо «обоснования».

Отмеченные недостатки не снижают научную ценность работы и носят исключительно рекомендательный характер. Диссертационная работа затрагивает актуальные проблемы космонавтики, имеет практическое значение. По объему проведенных исследований и глубине проработки материала соответствует уровню, предъявляемым к диссертационным работам, а её автор, Заговорчев В.А., заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук.

Автореферат соответствует основным положениям диссертации.

Доктор технических наук, профессор,  
Советник президента  
ОАО «РКК «Энергия»

В.М. Филин

141070, Россия, Московская обл., г. Королёв, ул. Ленина, д. 4А

Телефон: 8 (495) 513-80-40

e-mail: Vyacheslav.Filin@rsce.ru

Подпись В.М. Филина заверяю

Ученый секретарь кф-мн



О.Н.Хатунцева